

**SIPO**

STATE INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE OF THE P.R.C

[HOME](#)[ABOUT SIPO](#)[NEWS](#)[LAW& POLICY](#)[SPECIAL TOPIC](#)[CHINA IP NEWS](#)[>>\[Patent Search\]](#)

Title: Method and apparatus for calibrating smart antenna array			
Application Number:	00815528	Application Date:	2000.09.06
Publication Number:	1399846	Publication Date:	2003.02.26
Approval Pub. Date:		Granted Pub. Date:	2005.03.02
International Classification:	H04B7/04, H01Q3/00		
Applicant(s) Name:	Atstarcom, Inc.		
Address:			
Inventor(s) Name:	Yang Zhangping, Gu Yucong		
Attorney & Agent:	han hong		

[Close](#)

Copyright © 2007 SIPO. All Rights Reserved

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H04B 7/04

H01Q 3/00



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 00815528.3

[45] 授权公告日 2005 年 3 月 2 日

[11] 授权公告号 CN 1191690C

[22] 申请日 2000.9.6 [21] 申请号 00815528.3

[30] 优先权

[32] 1999. 9. 10 [33] US [31] 60/153,247

[32] 1999. 12. 16 [33] US [31] 09/464,933

[86] 国际申请 PCT/US2000/024477 2000.9.6

[87] 国际公布 WO2001/019101 英 2001.3.15

[85] 进入国家阶段日期 2002.5.10

[71] 专利权人 阿茨达科姆公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 杨章平 古余从 李施平

审查员 行朝霞

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

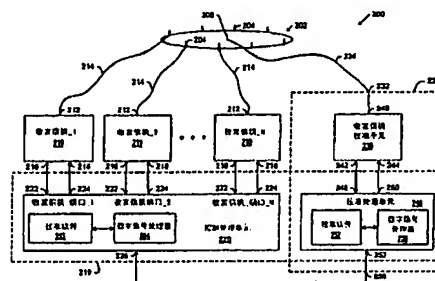
代理人 韩 宏

权利要求书 9 页 说明书 28 页 附图 6 页

[54] 发明名称 用于校准智能天线阵列的方法与装置

[57] 摘要

一种智能天线阵列，包括多个天线元件(204)、至少一个校准元件(206)、多个收发信机单元(210)，每一个收发信机单元拥有一个与相关联的一个天线元件(212)耦合的端口、一个接收端口(216)、以及一个发射端口(218)；一个收发信机校准单元(238)，包括一个经由一条同轴电缆(234)与校准元件耦合的端口(240)、一个接收端口(242)、以及一个发射端口(244)；以及信号处理装置(220)，与每一收发信机单元的每一接收端口和发射端口通信地耦合，并与校准接收端口和校准发射端口系统耦合。



1. 一种智能天线系统，包括：

一个天线阵列，包括多个天线元件、以及至少一个用于向每一个上述天线元件辐射信号和从每一个上述天线元件接收所辐射的信号的
天线校准元件；

多个天线元件耦合装置；

多个收发信机单元，每一个收发信机单元包括一个经由上述相关联的一个天线耦合装置与相关联的一个上述天线元件通信地耦合的输入/输出端口、一个接收端口、 以及一个发射端口；

一个收发信机校准单元，包括一个与上述校准元件通信地耦合的校准输入/输出端口、一个校准接收端口、以及一个校准发射端口；以及

信号处理装置，与每一上述收发信机单元的每一上述接收端口和上述发射端口通信地耦合，并与上述校准单元的上述校准接收端口和上述校准发射端口通信地耦合；

其中，与每一上述天线元件相关联的一个发射机校准路径从上述相关联的收发信机单元的上述发射端口延伸到上述相关联的天线元件，从上述相关联的天线元件延伸到上述天线校准元件，并从上述校准元件延伸到上述校准单元的上述校准接收端口；

其中，与每一上述天线元件相关联的一个接收机校准路径从上述校准单元的上述校准发射端口延伸到上述校准元件，从上述校准元件

延伸到上述相关联的天线元件，并从上述相关联的天线元件延伸到上述相关联的收发信机单元的上述接收端口；

上述信号处理装置在一发射校准模式下工作以把一个发射模式参考信号提供给每一上述收发信机单元的上述发射端口，并响应作为通过相关联的一些上述发射机校准路径传播的相关联的一些上述发射参考信号的一个结果而导出的发射模式合成信号，上述信号处理装置还进行工作以通过确定上述发射模式参考信号和上述相关联的发射模式合成信号之间的振幅差和相移来确定一个发射模式校准向量；

上述信号处理装置还在一接收校准模式下工作以把接收模式参考信号提供给上述校准单元的上述校准发射端口，并响应作为通过相关联的一些上述接收机校准路径传播的相关联的一些上述接收模式参考信号的一个结果而导出的接收模式合成信号，上述信号处理装置还进行工作以通过确定上述接收模式参考信号和上述相关联的接收模式合成信号之间的振幅差和相移来确定一个接收模式校准向量。

2. 如权利要求 1 中所述的智能天线系统，其中上述天线元件放置在一个呈环形的阵列中，而且其中上述校准元件放置在该阵列的中心点。

3. 如权利要求 1 中所述的智能天线系统，其中上述校准单元的上述输入/ 输出端口经由一条同轴电缆与上述校准元件通信地耦合。

4. 如权利要求 1 中所述的智能天线系统，其中每一上述天线耦合装置包括一条同轴电缆。

5. 如权利要求 1 中所述的智能天线系统，其中每一上述收发信机

单元还包括：

一个天线收发转换开关，其拥有一个与上述收发信机的上述输入 / 输出端口通信地耦合的第一端口、一个接收路径端口、以及一个发射路径端口；

一个接收处理器，其拥有一个与上述天线收发转换开关的上述接收路径端口通信地耦合的输入端口、以及一个与上述收发信机单元的上述接收端口通信地耦合的输出端口；以及

一个发射处理器，其拥有一个与上述收发信机单元的上述发射端口通信地耦合的输入端口、以及一个与上述天线收发转换开关的上述发射路径端口通信地耦合的输出端口。

6. 如权利要求 1 中所述的一智能天线系统，其中上述校准单元包括：

一个天线收发转换开关，其拥有一个与上述校准单元的上述输入 / 输出端口通信地耦合的第一端口、一个接收路径端口、以及一个发射路径端口；

一个校准接收处理器，其拥有一个与上述天线收发转换开关的上述接收路径端口通信地耦合的输入端口、以及一个与上述校准单元的上述校准接收端口通信地耦合的输出端口；以及

一个校准发射处理器，其拥有一个与上述校准单元的上述校准发射端口通信地耦合的输入端口、以及一个与上述天线收发转换开关的上述发射路径端口通信地耦合的输出端口。

7. 如权利要求 6 中所述的智能天线系统，其中上述信号处理装置

和每一个上述收发信机单元进行工作以发射和接收载有多个信道的信号，而且其中每一个上述接收模式参考信号和每一个上述发射模式参考信号载有多个信道。

8. 如权利要求 7 中所述的智能天线系统，其中上述校准发射处理器还包括：

一个第一数字上变换器，其拥有一个用于接收来自上述信号处理装置的上述接收模式参考信号的上述信道的一个第一部分的输入端口，和一个输出端口；以及

一个第二数字上变换器，其拥有一个用于接收来自上述信号处理装置的上述接收模式参考信号的上述信道的一个第二部分的第一输入端、一个与上述第一上变换器的上述输出端口通信地耦合的第二输入端口、以及一个输出端口；

一个数/模转换器，其拥有一个与上述第二上变换器的上述输出端口通信地耦合的输入端口、以及一个用于提供模拟参考信号的输出端口；

一个带通滤波器，其拥有一个用于接收上述模拟参考信号的输入端口、以及一个用于提供带通滤波的信号输出端口；

一个发射机混合器，其拥有一个用于接收上述带通滤波的信号的第一输入端口、一个用于接收一个校准参考信号的第二输入端口、以及一个用于提供一个混合的信号输出端口；

一个参考信号发生器，用于把上述校准参考信号提供给上述混合器的上述第二输入端口；以及

一个前置放大器，其拥有一个用于接收上述混合的信号输入端口、以及一个与上述天线收发转换开关的上述发射路径端口通信地耦合输出端口。

9. 如权利要求 7 中所述的智能天线系统，其中上述校准接收处理器还包括：

一个前置放大器，其拥有一个与上述天线收发转换开关的上述接收路径端口耦合的输入端口，以及一个输出端口；

一个接收机混合器，其拥有一个与上述前置放大器的上述输出端口通信地耦合的第一输入端口、一个用于接收一个校准参考信号的第二输入端口、以及一个用于提供一个混合的信号输出端口；

一个参考信号发生器，用于把上述校准参考信号提供给上述混合器的上述第二端口；

一个带通滤波器，其拥有一个用于接收上述混频的信号输入端口、以及一个用于提供一个带通滤波的信号输出端口；以及

一个模/数转换器，其拥有一个用于从上述带通滤波器接收上述滤波的信号输入端口、以及一个提供一个拥有多个信道的数字信号输出端口；

一个第一数字下变换器，其拥有一个响应在所述模/数转换器的上述输出端口提供的上述数字信号的上述信道的第一部分的一个输入端口、以及一个与上述信号处理装置通信地耦合的输出端口；以及

一个第二数字下变换器，其拥有一个响应在所述模/数转换器的上述输出端口提供的上述数字信号的上述信道的第二部分的一个输入端

口、以及一个与上述信号处理装置通信地耦合的输出端口。

10. 如权利要求 1 中所述的智能天线系统,其中上述信号处理装置包括:

一个控制处理单元,其拥有与上述各收发信机单元的上述接收端口和上述发射端口通信地耦合的多个端口;以及

一个校准处理单元,与上述校准单元的上述校准接收端口和上述校准发射端口通信地耦合,并与上述控制处理单元通信地耦合。

11. 如权利要求 10 中所述的智能天线系统,其中上述校准处理单元和上述校准单元封闭在一个屏蔽的外壳中。

12. 一种智能天线系统,包括:

一个天线阵列,包括多个天线元件、以及至少一个用于向每一个上述天线元件辐射信号和从每一个上述天线元件接收所辐射的信号的天线校准元件;

多个天线元件耦合装置;

多个收发信机单元,每一个收发信机单元包括一个经由相关的一个上述天线耦合装置与相关的一个上述天线元件通信地耦合的输入/输出端口、一个接收端口、以及一个发射端口;

一个收发信机校准单元,包括一个与上述校准元件通信地耦合的校准输入/输出端口、一个校准接收端口、以及一个校准发射端口;以及

信号处理装置,与每一上述收发信机单元的每一上述接收端口和上述发射端口通信地耦合,并与上述校准单元的上述校准接收端口和

上述校准发射端口通信地耦合；

其中，与每一上述天线元件相关联的一个发射机校准路径从上述相关联的收发信机单元的上述发射端口延伸到上述相关联的天线元件，从上述相关联的天线元件延伸到上述校准元件，并从上述校准元件延伸到上述校准单元的上述校准接收端口；

上述信号处理装置在一发射校准模式下工作以把一个发射模式参考信号提供给每一上述收发信机单元的上述发射端口，并响应作为通过相关联的一些上述发射机校准路径传播的相关联的一些上述发射参考信号的一个结果而导出的发射模式合成信号，上述信号处理装置还进行工作以通过确定上述发射模式参考信号和上述相关联的发射模式合成信号之间的振幅差和相移来确定一个发射模式校准向量。

13. 如权利要求 12 中所述的智能天线系统，其中上述天线元件放置在一个呈环形的阵列中，而且其中上述校准元件放置在该阵列的中心点。

14. 如权利要求 12 中所述的智能天线系统，其中上述校准单元的上述输入/输出端口经由一条同轴电缆与上述校准元件通信地耦合。

15. 如权利要求 12 中所述的智能天线系统，其中每一上述天线耦合装置包括一条同轴电缆。

16. 一种智能天线系统，包括：

一个天线阵列，包括多个天线元件、以及至少一个用于向每一个上述天线元件辐射信号和从每一个上述天线元件接收所辐射的信号的天线校准元件；

多个天线元件耦合装置；

多个收发信机单元，每一个收发信机单元包括一个经由相关的一个上述天线耦合装置与相关的一个上述天线元件通信地耦合的输入/输出端口、一个接收端口、 以及一个发射端口；

一个收发信机校准单元，包括一个与上述校准元件通信地耦合的校准输入/输出端口、一个校准接收端口、以及一个校准发射端口；以及

信号处理装置，与每一上述收发信机单元的每一上述接收端口和上述发射端口通信地耦合，并与上述校准单元的上述校准接收端口和上述校准发射端口通信地耦合；

其中，与每一上述天线元件相关联的一个接收机校准路径从上述校准单元的上述校准发射端口延伸到上述校准元件，从上述校准元件延伸到上述相关联的天线元件，并从上述相关联的天线元件延伸到上述相关联的收发信机单元的上述接收端口；

上述信号处理装置在一接收校准模式下工作以把接收模式参考信号提供给上述校准单元的上述校准发射端口，并响应作为通过相关联的一些上述接收机校准路径传播的相关联的一些上述接收模式参考信号的一个结果而导出的接收模式合成信号，上述信号处理装置还进行工作以通过确定上述接收模式参考信号和上述相关联的接收模式合成信号之间的振幅差和相移来确定一个接收模式校准向量。

17. 如权利要求 16 所述的智能天线系统，其中上述天线元件放置在一个呈环形的阵列中，而且其中上述校准元件放置在该阵列的中心

点。

18. 如权利要求 16 所述的智能天线系统，其中上述校准单元的上述输入/ 输出端口经由一条同轴电缆与上述校准元件通信地耦合。

19. 如权利要求 16 中所述的智能天线系统，其中每一上述天线耦合装置包括一条同轴电缆。

用于校准智能天线阵列的方法与装置

相关申请的相互参照：

参照 1999 年 9 月 10 日提出的申请序列号为 60/153, 247、名为 “Smart Antenna System using External Calibration Method (使用外部校准方法地智能天线系统)” 的美国临时申请以及 1999 年 12 月 16 日提出的申请序列号为 09/464, 933、名为 “Method and Apparatus for Calibrating a Smart Antenna Array (校准智能天线阵列地方法和装置)” 的美国申请，并要求这两个申请的优先权。

发明背景

发明领域

总的来说，本发明涉及用于校准一个自适应天线阵列系统的技术，更具体地说，涉及一种用于校准一个多载波智能天线阵列系统的方法与装置。

现有技术描述：

天线阵列通常用于多种发射与/或接收射频 (RF) 信号的系统。这样的系统的例子包括无线通信系统，例如蜂窝电话系统、以及雷达系统。包括多个天线元件的一个天线阵列提供了对一个单元件天线改进的性能特征。该改进的特征包括改进了信噪比、改进了对所接收信号

的干扰抑制、降低了对所发射的信号功率要求、以及改进了方向性。

对于一个理想的天线阵列来说，与阵列的每一元件相关联的信号特征，包括衰减和相移，是相等的。设计和制造一个天线阵列的重要目标是优化该阵列的信号特征，以尽可能地接近理想的情况。因此，制造一个天线阵列系统是非常困难和十分昂贵的。天线阵列校准提供了一种使用根据阵列的实际信号特征加以确定的一个校准向量优化一个天线阵列的信号特征以补偿阵列的每一元件的实际信号特征的性能差异的手段。

图1给出了参考标号为10的现有技术波束调向天线阵列校准系统的一个概略性示意图。系统10包括一个波束调向天线阵列收发信机系统12，包括：一个天线阵列14，其拥有N个天线元件16；N个收发信机18，在图中被指定为收发信机_1、收发信机_2、...、收发信机_N，每一个收发信机18拥有一个端口20，端口20通过一条相应的同轴电缆22与相应的一天线元件16通信地耦合；一个校准处理单元24，与每一个收发信机18通信地耦合，如以下进一步加以解释的。

每一个收发信机18还包括：一个天线收发转换开关30，其拥有一个通过收发信机的端口20并通过相应的同轴电缆22与相应的一天线元件16通信地耦合的端口32、一个接收端口34、及一个发射端口36；一个接收处理器38，其拥有一个与天线收发转换开关的端口34通信地耦合的输入端口40、以及一个输出端口42；以及一个发射处理器44，其拥有一个与天线收发转换开关的端口36通信地耦合的端口46、以及一个输入端口48。校准处理单元24包括多个收发信机

端口, 在图中被指定为收发信机_端口_1、收发信机_端口_2、...、收发信机_端口_N, 每一个收发信机端口拥有一个用于接收来自相应的一个收发信机 18 的接收处理器 38 的端口 42 的一个信号的输入端口 52、以及用于向相应的一个收发信机的发射处理器 44 的端口 48 提供一个信号的一个输出端口 54。

在操作过程中, 波束调向天线阵列收发信机系统 12 可用于多个应用中的任何一种应用, 包括蜂窝电话系统的基站。天线阵列 14 从移动单元接收信号, 校准处理单元 24 进行工作以分析所接收的信号, 并确定与相应的所接收的信号相关联的一个位置向量, 以确定移动单元的位置。然后使用位置向量以控制由天线阵列 14 所生成的一个辐射图形, 其中通过改变在校准处理单元 24 的输出端口 54 处所生成的信号的相位来控制波束, 以把波束按相应的移动单元的方向加以聚焦。

把每一个天线元件 16 与一个相应的接收信号路径和一个相应的发射信号路径相关联。与每一个天线元件 16 相关联的接收路径从相应的天线元件 16 向校准处理单元 24 的相应的输入端口 52 延伸, 跨越相应的天线元件 16、相应的同轴电缆 22、天线阵列收发信机 30、以及相应的一个收发信机 18 的接收处理器 38。与每一个天线元件 16 相关联的发射信号路径从校准处理单元 24 的相关联的一个输出端口 54 向相应的天线元件 16 延伸, 跨越相应的发射处理器 44、天线收发转换开关 30、以及同轴电缆 22。在一个理想的天线阵列收发信机系统中, 与每一天线元件 16 相关联的信号路径特征彼此相同, 而且与每一个接收机信号路径相关联的信号特征也彼此相同。信号路径特征包括作为

通过一个相应的路径传播的一个结果的信号中的衰减、或振幅差，以及作为通过一个相应的路径传播的一个结果的信号中的相移。因此，每一个天线元件 16 拥有相关联的发射和接收信号特征的集合，包括与相应的发射和接收信号路径相关联的相移和衰减。注意，由于天线元件的维数方面以及相应天线元件的材料特性方面的微小变化，每一个天线元件本身可能拥有与此相关的不同的信号特征。

在实践中，一个天线阵列收发信机系统提供了较少的理想性能，因为与每一天线元件相关联的发射路径和接收信号路径的信号特征是变化的。因此，必须确定每一接收信号路径和每一发射信号路径的信号特征，以使校准补偿值可以针对每一情况加以确定。校准补偿值被使用以确定用于对与收发信机系统的每一个发射信号路径和接收信号路径相关联的信号特征方面的变化进行补偿的校准向量。天线阵列校准提供了一种实现与提供可接受性能的系统很接近的天线阵列的手段。

根据传统的用于校准一个波束调向定向天线阵列收发信机系统的过程，可使用一个外部校准处理器 64 或一个转发器 60 以确定用于通过转发器和天线阵列 14 之间的位置关系所确定的多个波束方向中的每一个波束方向的一个校准向量。转发器 60 响应从相应的一些天线元件 16 传输给其的信号，并进行工作以把一个返回信号传输回天线阵列 14。由相应的一些天线元件 16 接收返回信号，并通过相应的一些同轴电缆 22 和收发信机 18 将其提供给校准处理单元 24 的输入端口 52。尽管可以把外部校准处理器 64 或转发器 60 用于校准系统 12，但对外

部校准处理器 64 的使用是复杂的,因为必须通过现场技术人员遥控或手工地控制处理器 64。

校准过程的一个目的是确定在系统 12 的工作中所使用的一个补偿向量,以调整在校准处理单元 24 的端口 52 和 54 处所生成和所接收的发射信号和接收信号,以补偿每一收发信机 18 和相关联的天线元件 16 的每一发射和接收信号路径的信号特征之间的差别。校准过程通常包括阵列 14 的每一天线元件 16 和转发器 60 之间的发射与接收信号。转发器 60 定位在离天线阵列 14 足够远的地方,以使与转发器 60 或处理器 64 和每一相应的天线元件 16 之间所发射和所接收的信号相比,每一天线元件 16 之间的距离是可以忽略不计的。

校准过程包括一个接收路径校准过程和一个发射路径校准过程。在发射路径校准过程中,校准处理单元 24 进行工作以把在收发信机_端口_1 的端口 54 处的第一参考信号提供给收发信机_1,从而把一个信号从相关联的一个天线元件 16 辐射到转发器 60。接下来,校准处理单元 24 把在收发信机_端口_2 的端口 54 处的第二参考信号提供给收发信机_2,从而把一个信号从相关联的一个天线元件 16 辐射到转发器 60。接收这些信号的转发器 60 可以包括用于确定与每一信号相关联的信号特征的逻辑。另外,也可以通过一条电缆(未在图中示出)把转发器 60 耦合于校准处理单元 24,校准处理单元 24 接收数据并确定与这些信号中的每一信号相关联的信号特征,根据与每一信号相关联的信号特征,为每一个天线元件确定一个发射模式校准向量。

在接收路径校准过程中,校准处理单元 24 响应在其端口 52 处所

接收的合成信号 (resultant signal), 各合成信号响应由转发器 60 所生成的参考信号, 在处理器 24 的端口 52 处被导出, 并由相应的一些天线元件 16 接收, 以及通过相应的一条电缆 22 和收发信机 18 进行传送。通过确定合成信号和相关联的参考信号之间的振幅差与相移可确定一个接收校准向量。

注意, 在波束调向过程中, 必须移动转发器 60 或外部校准处理器 64 的位置, 以针对多个与天线阵列 14 相关联的波束方向确定与每一转发器和相应元件相关联的信号特征。必须把波束聚焦于转发器的位置。

另一种类型的天线阵列收发信机阵列系统是一种智能天线阵列收发信机系统。这样的系统包括多载波智能天线阵列系统。与必须使用一个远地校准处理器或转发器以针对多个方向中的每一方向确定一个校准方向向量的传统的波束调向定向天线阵列系统不同, 一智能天线阵列系统可以以一种不同的方式被校准。智能天线阵列系统进行工作以根据移动目标方向自适应地改变波束方向。校准向量对发射和接收信号路径的变化提供补偿。

图 2A 描述的是用于校准一智能天线阵列收发信机系统 82 的内部环路校准系统 80 的概略性电路方框图。系统 82 包括: 一个拥有多个天线元件 16 的天线阵列 14; N 个内部环路校准收发信机 84, 在图中被指示为收发信机_1、收发信机_2、...、收发信机_N, 每一个收发信机 84 包括一个通过多个同轴电缆 88 中相应的一条与相应的一个天线元件 16 通信地耦合的端口 86、一个与一个参考信号终端 92 通信地耦

合的参考信号端口 90、一个接收信号端口 94、以及一个发射信号端口 96；以及一个校准处理单元 100，其拥有 N 组收发信机端口，每组拥有一个与相应的一个收发信机 84 的端口 94 通信地耦合的相应的输入端口 102、以及一个与相应的一个收发信机 84 的端口 96 通信地耦合的输出端口 104。一个参考信号发生器 110，其拥有一个输出端 112，用于根据一个现有技术“内环路 (in-loop)”校准过程向每一终端 92 提供一个参考信号，以下将对现有技术“内环路”校准过程进一步加以描述。

图 2B 描述的是一个更详细地说明了图 2A 的一个内部环路校准收发信机 84 的概略性电路方框图。每一个收发信机 84 还包括：一个第一 RF 信号耦合器 122，其拥有一个经由端口 86 并通过相应的同轴电缆 88 与相应的一个天线元件 16 通信地耦合的第一端口 124、一个用于经由端 92 接收来自参考信号发生器 110（图 2A）的参考信号或校准信号的耦合端口 126、及一个第二端口 128；一个第二 RF 信号耦合器 130，其拥有一个与第一 RF 信号耦合器 122 的端口 128 通信地耦合的第一端口 132、一个耦合端口 134，以及一个第二端口 136；一个天线收发转换开关 138，其拥有一个与第二 RF 信号耦合器 130 的端口 136 通信地耦合的端口 140、一个发射端口 142、以及一个接收端口 144；一个发射处理器 146，其拥有一个通过收发信机的端口 96 与校准处理单元 100 的相应的一个端口 104 通信地耦合的输入端口 148、和一个与天线收发转换开关的发射端口 142 通信地耦合的输出端口 150；一个衰减器 152，其拥有一个与第二 RF 信号耦合器 130 的端口 134 通信

地耦合的输入端口 154、以及一个输出端口 156；一个开关（switch）160，其拥有一个与天线收发转换开关 138 的接收端口 144 通信地耦合的端口 162、一个与衰减器 152 的端口 156 通信地耦合的端口 164，以及端口 166；以及一个接收处理器 170，其拥有一个与开关 160 的端口 166 通信地耦合的输入端口 172、以及一个通过收发信机 84 的端口 94 与校准处理单元 100 的相应的一个接收信号端口 102 通信地耦合的输出端口 174。

可以把开关 160 设置成把其端口 164 连接于其端口 166，或者可以设置成把其端口 162 连接于其端口 166，以便确定发射校准向量和接收校准向量，在以下进一步加以解释。衰减器 152 还随第一和第二 RF 信号耦合器 122 和 130 以及把参考信号提供给终端 92 的参考信号发生器 110（图 2A）一起用于校准过程。在现有技术校准过程期间，通常现场技术人员必须相继把参考信号发生器 110（图 2A）连接于收发信机 84 的每一个参考信号终端 92。这将是一件艰苦的工作。

在一个接收校准模式中，把开关 160 设置成通过连接开关的端口 162 和 166 把天线收发转换开关 138 的接收端口 144 耦合到接收处理器 170 的输入端口 172。另外，在接收校准模式中，还把相应的一条同轴电缆 88 同相应的天线元件 16 断开，并终结该电缆，以把相应的天线元件与收发信机隔离开来。而且，在接收校准模式中，还把参考信号发生器 110（图 2A）连接于相应的终端 92，并对其加以激活以把一个参考信号提供给第一 RF 信号耦合器 122 的耦合端口 126。现有技术接收校准过程的目的是确定与一个所测接收信号路径 180 相关联的

信号特征，接收信号路径 180 经由第一 RF 信号耦合器 122 的端口 126 和 128、第二 RF 信号耦合器 130 的端口 132 和 136、天线收发转换开关 138 的接收端口 140 和 144、开关 160 的端口 162 和 166、以及接收处理器 170，从第一 RF 信号耦合器 122 的耦合端口 126 延伸至处理单元 100 的输入端口 102。

通过把参考信号施加于终端 92，与此同时把开关 160 设置在接收模式下，以及同时终结电缆 88，如以上所描述的。作为通过所测接收信号路径 180 传播的参考信号的一个结果，在接收处理器 170 的端口 174 处导出一个接收校准模式合成信号。校准处理单元 100 响应在其端口 102 处从接收处理器 170 的端口 174 所接收的接收模式校准合成信号，并进行工作以根据施加于终端 92 的参考信号和接收模式校准合成信号之间的振幅差和相移确定与所测接收信号路径 180 相关联的信号特征。根据这一现有技术方法，假设所测接收信号路径 180 的信号特征充分地代表了一个实际接收路径的信号特征，这一实际接收路径经由相关联的一条电缆 88、第一 RF 信号耦合器 122 的端口 124 和 128，第二 RF 信号耦合器 130 的端口 132 和 136、天线收发转换开关 138 的端口 140 和 144、开关 160 的端口 162 和 166、以及接收处理器 170，从相关联的天线元件 16 延伸到处理单元 100 的相关联的输入端口 102。与现有技术内部环路校准过程相关联的一个重要的问题是，与所测接收信号路径 180 相关联的信号特征不包括与天线元件 16 以及相关联的一条同轴电缆 88 相关联的信号特征，因为对终端 92 注入参考信号（在第一 RF 信号耦合器 122 的耦合端口 126 处对其注入）而绕过了

这些元件。因此，所描述的现有技术校准过程不考虑与每一天线元件 16、每一条同轴电缆 88、以及每一耦合器 122 的端口 124 和 128 之间的路径相关联的信号特征方面的差别。

与现有技术内部环路校准过程相关的另一个问题是，开关 160、衰减器 152 以及 RF 信号耦合器 122 和 130 在收发信机 84 的接收信号路径中引入了相当大的衰减，这降低了天线系统的灵敏度。与现有技术内部环路系统相关的又一问题是，假设衰减器 152 拥有一个精确地已知的衰减值，而在实践中，衰减器 152 的衰减值可能会发生变化。

在一个发射校准模式中，把开关 160 设置成通过连接开关的端口 164 和 166 而把衰减器 152 的端口 156 耦合于接收处理器 170 的端口 172。现有技术发射模式校准过程要求根据一两步骤的过程来测试两个信号路径的信号特征，如以下进一步加以解释的。

根据现有技术内部环路发射模式校准过程的第一步，校准处理单元 100 在其每一个端口 104 处生成参考信号，每一个参考信号拥有一个已知的相位和振幅。在每一个端口 104 所生成的参考信号通过一个跨越发射处理器 146、天线收发转换开关 138 的端口 142 和 140、第二 RF 信号耦合器 130 的端口 136 和 134、衰减器 152、开关 160 的端口 164 和 166、以及接收处理器 170 的环路信号路径 182 加以传播。校准处理单元 100 响应在其端口 102 处所接收的一个第一发射模式合成信号，作为在相应的端口 104 处所生成的参考信号的一个结果在接收处理器的输出端口 174 处导出第一发射模式结果信号，并通过环路信号路径 182 加以传播。校准处理单元 100 进行工作以把在端口 102 处所

接收的合成信号与在相应的一个拥有已知相位和振幅的端口 104 处所生成的相关联的参考信号加以比较。校准处理单元 100 还工作以确定与环路信号路径 182 相关联的信号特征。与每一收发信机 84 (图 2A) 的信号路径 182 相关联的信号特征被使用以确定一个向量 X, 这一向量 X 被用于确定一个发射模式校准向量, 如以下进一步加以解释的。

根据现有技术内部环路发射模式校准过程的第二步, 必须测量与一个剩余信号路径 184 相关联的信号特征。剩余信号路径 184 从第一 RF 信号耦合器 122 的端口 126 延伸至校准处理单元 100 的端口 102 和第一 RF 信号耦合器的传输端口 126 和 128、第二 RF 信号耦合器 130 的端口 132 和 134、衰减器 152、开关 160 的端口 164 和 166、以及接收处理器 170。把开关 160 设置成通过连接开关的端口 164 和 166 把衰减器 152 的端口 156 与接收处理器 170 的端口 172 通信地耦合。然后, 使用参考信号发生器 110 (图 2A) 把一个拥有已知的相位和振幅的第二参考信号施加于参考信号终端 92。校准处理单元 100 响应在其端口 102 处所接收到的一个第二合成信号, 并进行工作以通过确定提供给参考信号端 92 的参考信号和作为通过信号路径 184 传播的参考信号的一个结果导出的第二合成信号之间的相移与振幅差来确定与信号路径 184 相关联的信号特征。把与收发信机 84 (图 2A) 的每一路径 184 相关联的信号特征用于确定一个向量 Y。

可以根据以下的关系 (1) 确定与一个所测发射信号路径相关联的一个发射校准向量。

$$\text{发射校准向量} = X \cdot /Y \quad (1)$$

其中，向量 Y 代表与收发信机 84（图 2A）的每一剩余路径 184 相关联的信号特征，向量 X 代表与收发信机 84（图 2A）的每一环路信号路径 182 相关联的信号特征。以上的关系（1）得到一个通过考虑与一个所测发射信号路径相关联的信号特征加以确定的发射校准向量，这一所测发射信号路径经由第一 RF 信号耦合器的端口 126 和 128、第二 RF 信号耦合器 130 的端口 132 和 136、天线收发转换开关 138 的端口 140 和 144、开关 160 的端口 162 和 166、以及接收处理器 170，从第一 RF 信号耦合器 122 的端口 126 延伸到接收处理器 170 的端口 174。

与现有技术内部环路校准过程相关的另一个重要的问题是，与所测发射信号路径相关联的信号特征不包括与天线元件 16 以及相关联的一条同轴电缆 88 相关联的信号特征，因为在终端 92 处的参考信号（在第一 RF 信号耦合器 122 的耦合端口 126 处对其注入）的注入绕过了这些元件。与每一天线元件 16 相关联的信号特征是重要的，因为来自每一元件 16 的辐射是不同的，原因在于每一元件 16 拥有不同的信号特征，包括稍微不同的维数和稍微不同的材料特性。

发明概述

本发明的一个目的是提供一种校准一智能天线阵列系统的装置和方法，其中，不必把校准部件，例如开关、耦合器、衰减器引入提供了阵列的天线元件和系统的信号处理单元之间的耦合的发射和接收信号路径中。

本发明的另一个目的是提供一种校准一智能天线系统的装置和方法，其中，系统的灵敏度未因校准部件的引入而降低。

本发明的另一个目的是提供一种校准一智能天线系统的装置和方法，其中，与每一天线元件相关联的信号特征，以及与连接于天线元件的电缆相关联的信号特征被考虑于校准过程中。

本发明的又一个目的是提高对一智能天线系统的校准精度，以使智能天线波束形成的效率将得以提高。

本发明的再一个目的是，提供一种能够简化校准一智能天线系统的过程的装置。

简而言之，本发明当前的一个优选实施例包括一种智能天线系统，这一智能天线系统包括一个天线阵列，这一天线阵列包括多个天线元件、以及至少一个用于向每一个天线元件辐射信号和从每一个天线元件接收所辐射的信号的校准元件。天线元件放置在一个大体呈环形的阵列中，校准元件放置在该阵列的中心点附近。

智能天线系统还包括：多个收发信机单元，每一个收发信机单元拥有一个通过相关联的一个天线耦合装置与相关联的一个天线元件通信地耦合的输入/输出端口、一个接收端口、以及一个发射端口；一个收发信机校准单元，其包括一个通过一条同轴电缆与校准元件通信地耦合的校准输入/输出端口、一个校准接收端口、以及一个校准发射端口；以及与每一收发信机单元的每一接收端口和发射端口通信地耦合，并与校准单元的校准接收端口和校准发射端口通信地耦合的信号处理装置。

一个与每一天线元件相关联的发射机校准路径从相关联的收发信机单元的发射端口延伸到相关联的天线元件，从相关联的天线元件延伸到校准元件，以及从校准元件延伸到校准单元的校准接收端口。一个与每一天线元件相关联的接收机校准路径从校准单元的校准发射端口延伸到校准元件，从校准元件延伸到相关联的天线元件，以及从相关联的天线元件延伸到相关联的收发信机单元的接收端口。

信号处理装置在一种发射校准模式下工作以把一个发射模式参考信号提供给每一收发信机单元的发射端口，并响应作为通过相关联的一些发射机校准路径传播的相关联的一些发射参考信号的一个结果所导出的发射模式合成信号。信号处理装置还进行工作以通过确定发射模式参考信号和相关联的发射模式合成信号之间的振幅差和相移来确定一个发射模式校准向量。

信号处理装置在一个接收校准模式下工作以把接收模式参考信号提供给校准单元的校准发射端口，并响应作为通过相关联的一些接收机校准路径传播的相关联的一些接收模式参考信号所导出的接收模式合成信号。信号处理装置还进行工作以通过确定接收模式参考信号和相关联的接收模式合成信号之间的振幅差和相移来确定一个接收模式校准向量。

本发明的智能天线系统的一个重要的优点是，它提供了改进的校准精度，因而改进了系统的波束形成效率。

本发明的智能天线系统的另一个重要的优点是，校准了与每一天线元件，以及与把天线元件连接于收发信机的同轴电缆相关联的信号

特征。

本发明的又一个优点是，不会因引入了导致信号衰减的内环路校准部件而降低智能天线系统的灵敏度。

通过以下参照若干附图对优选实施例的详细描述，本发明的先前所描述的以及其它的目的、特性、以及优点将会变得十分明显。

附图简述：

图 1 是一个现有技术波束调向天线阵列校准系统的概略性电路方框图；

图 2A 是现有技术智能天线阵列系统的一个概略性电路方框图，该智能天线阵列包括拥有用于校准天线阵列系统的内部环路校准部件的收发信机；

图 2B 是一个进一步详细说明图 2A 的一个拥有内部环路校准部件的收发信机的概略性电路方框图；

图 3 是根据本发明的一智能天线收发信机系统的一个概括的概略性电路方框图，该系统包括：一个天线阵列，其拥有多个天线元件和一个天线校准元件；多个收发信机，每一个收发信机与一个天线元件通信地耦合；以及一个位于收发信机外部的校准收发信机单元；

图 4 是一个进一步详细说明图 3 的系统的—个收发信机和校准单元的概略性电路方框图；

图 5 是图 3 的校准收发信机的概略性电路方框图；

对优选实施例的详细描述

图 3 描述的是根据本发明的一智能天线收发信机系统 200 的概略性电路方框图, 系统 200 拥有系统内 (in-system) 外部环路校准特性。系统 200 包括: 一个天线阵列 202, 其拥有 N 个放置于一个大体呈环形的阵列中的天线元件 204、以及放置在该元件阵列的中心点附近的一个天线校准元件 206; N 个收发信机单元 210, 被指示为收发信机_1、收发信机_2、...、收发信机_N, 每一个收发信机单元 210 拥有通过多个同轴电缆 214 中相关联的一条与相关联的一个天线元件 204 相连接的输入/输出端口 212、一个接收端口 216、以及一个发射端口 218; 一个控制处理单元 220, 其拥有多组收发信机端口, 每一组收发信机端口与相关联的一个收发信机单元 210 通信地耦合, 每一个收发信机端口拥有一个与相关联的收发信机的接收端口 216 通信地耦合的输入端口 222、以及一个与相关联的收发信机的发射端口 218 通信地耦合的端口 224, 处理单元 220 还拥有一个校准控制信号端口 226, 将在以下进一步对其加以解释; 以及一个系统内多载波外部环路校准单元 230, 其拥有一个通过一条同轴电缆 234 与天线校准元件 206 通信地耦合的输入/输出端口 232、以及一个与控制处理单元 220 的端口 226 通信地耦合的校准控制信号端口 236。在本发明的一个可选的实施列中, 可通过波导器或任何其它的高频发射媒体把天线元件 204 和校准元件 206 分别耦合于相关联的收发信机单元 210 和校准单元 230。

校准单元 230 包括: 一个收发信机校准单元 238, 其拥有一个通过端口 232 并通过电缆 234 与天线校准元件 206 通信地耦合的输入/

输入端口 240、一个接收端口 242、以及一个发射端口 244；以及一个系统内校准处理单元 246，其拥有一个与收发信机校准单元的接收端口 242 通信地耦合的输入端口 248、一个与收发信机校准单元的发射端口 244 通信地耦合的输出端口 250、以及一个通过校准单元的端口 236 与控制处理单元 220 的端口 226 通信地耦合的校准控制信号端口 252。

控制处理单元 220 和校准处理单元 246 提供了一个系统内校准处理子系统 219。在本发明一实施例中，控制处理单元 220 包括一个数字信号处理器 254 和一个存储单元 255，用于存储计算机可执行的指令，供数字信号处理器 254 加以执行，以实现一个根据本发明的系统内多载波外部环路校准过程。校准处理单元 246 还包括一个数字信号处理器 256 和一个存储单元 257，用于存储计算机可执行的指令，供数字信号处理器 256 加以执行，以实现系统内多载波外部环路校准过程的进一步的步骤，如以下进一步加以解释的。在本发明一个可选的实施例中，把校准处理子系统 219 形成为拥有单个存储单元和单个数字信号处理器的一整体单元，用于存储和执行本发明的外部环路校准过程的全部所需的指令。另外，在本发明的一个实施例中，还把收发信机校准单元 238 和校准处理单元 246 封闭在一个屏蔽的外壳中，以把校准部件与来自收发信机 210 的潜在的辐射干扰隔离开来。

根据本发明的系统内多载波外部环路校准过程，控制处理单元 220 和校准处理单元 246 进行工作以经由收发信机单元 210 和校准收发信机单元 238，并经由相应的一些天线元件 204 和校准元件 206，生

成接收参考信号和接收合成信号，如以下将进一步加以解释的。

与每一天线元件 204 相关联的一个发射模式校准路径从相关联的一个收发信机单元 210 的发射端口 218 延伸到收发信机校准单元 238 的接收端口 242。发射模式校准路径包括：把相关联的收发信机的输入/输出端口 212 耦合于相关联的收发信机的发射端口 218 的关联的一个收发信机单元 210 的一个发射路径段；相关联的电缆 214；相关联的天线元件 204；天线校准元件 206；电缆 234；以及把校准收发信机的输入/输入端口 240 耦合于校准收发信机的接收端口 242 的收发信机校准单元 238 的一个接收路径段。也可换种说法：与每一天线元件相关联的发射模式校准路径从相关联的收发信机单元的发射端口 218 延伸到相关联的天线元件 204，从相关联的天线元件 204 延伸到校准元件 206，并从校准元件 206 延伸到接收端口 242 或校准单元 238。

一个与每一天线元件 204 相关联的接收模式校准路径，从收发信机校准单元 238 的发射端口 244 延伸到相关联的一个收发信机单元 210 的接收端口 216。接收模式校准路径跨越：把校准收发信机的输入/输入端口 240 耦合于校准收发信机的发射端口 244 的校准收发信机单元 238 的一个发射路径段；电缆 234；天线校准元件 206；相关联的天线元件 204；相关联的一条电缆 214；以及把相关的收发信机的输入/输入端口 212 耦合于相关联的收发信机的接收端口 216 的关联的一个收发信机单元 210 的一个接收路径段。也可换种说法：与每一天线元件 204 相关联的接收模式校准路径从校准单元 238 的发射端口 244 延伸到校准元件 206，从校准元件 206 延伸到相关联的天线元件

204, 并从相关联的天线元件 204 延伸到相关联的收发信机单元的接收端口 216。

在一个接收校准模式中, 校准处理单元 246 在其输出端口 250 处生成一个接收模式参考信号。收发信机校准单元 238 响应在其端口 244 处所接收的接收模式校准参考信号, 并工作以在其端口 240 处生成一个信号, 然后通过同轴电缆 234 传播这一信号, 并从校准天线元件 206 辐射出去。每一天线元件 204 响应从校准天线元件 206 所辐射的信号。控制处理单元 220 响应在其输入端 226 处从校准处理单元 246 的端口 252 所接收的校准控制信号, 这一校准控制信号指示在校准处理单元 246 的端口 250 处所生成的接收模式参考信号的振幅和相位。控制处理单元 220 还响应在与相应的一些天线元件 204 相关联的相应的一些输入端口 222 处所接收的接收模式校准合成信号。作为通过相关联的接收模式校准路径传播的接收模式参考信号的一个结果, 在相关联的一些收发信机 210 的端口 216 处导出接收模式合成信号。控制处理单元 220 进行工作以分析接收模式合成信号的相位和振幅, 并把接收模式合成信号与在校准处理单元 246 的输出端口 250 处所生成的相关联的接收模式参考信号进行比较。控制处理单元 220 进行工作以确定接收模式参考信号和相关联的接收模式合成信号之间的相移和振幅差, 以获得一个接收模式校准向量, 如以下进一步加以解释的。

在一个发射校准模式中, 控制处理单元 220 进行工作以在其每一输出端口 224 处生成一个发射模式参考信号。每一个收发信机单元 210 响应提供其发射端口 218 的接收模式参考信号, 并工作以在其端口

212 处生成一个信号，以使一个所辐射的发射模式校准参考信号被从相关联的一个天线元件 204 辐射出去。校准元件 206 响应所辐射的发射模式校准参考信号，且收发信机校准单元 238 响应由校准天线元件 206 响应所辐射的发射模式校准参考信号所导出的信号。校准收发信机单元 238 进行工作以在其接收端口 242 处提供一个发射模式校准合成信号。作为通过相关联的发射模式校准路径传播的相关联的发射模式参考信号的一个结果，在发射校准单元 238 的接收端口 242 处导出发射模式合成信号。校准处理单元 246 响应与每一天线元件 204 相关联的发射模式合成信号，并进行工作以分析发射模式合成信号。系统内校准处理单元 246 进行工作以把发射模式合成信号与发射模式参考信号进行比较，并进行工作以确定相应的一些发射模式参考信号和发射模式合成信号之间的相移和振幅差，以获得一个发射模式校准向量 V_{ic} ，如以下进一步加以解释的。

图 4 描述的是一个进一步详细说明本发明的系统 200（图 3）的一个收发信机单元 210 和收发信机校准单元 238 的概略性电路方框图。每一个收发信机单元 210 包括：一个天线收发转换开关 264，其拥有一个经由收发信机单元的端口 212 和经由相关联的一条同轴电缆 214 与相关联的一个天线元件 204 通信地耦合的端口 266、一个输出端口 268、以及一个输入端口 270；一个发射处理器 272，其拥有经由收发信机单元的发射端口 218 与校准处理单元 220 的端口 224 通信地耦合的输入端口 274、和一个与天线收发转换开关的端口 270 通信地耦合的输出端口 276；以及一个接收处理器 278，其拥有一个与天线收发

转换开关的输出端口 268 通信地耦合的输入端口 280、和 一个经由收发信机单元的端口 216 与校准处理单元 220 的端口 222 通信地耦合的输出端口 282。

收发信机校准单元 238 非常类似于收发信机单元 210，并包括：一个天线收发转换开关 290，其拥有一个经由收发信机校准单元的端口 240 并经由同轴电缆 234 与校准天线元件 206 通信地耦合的端口 292、一个输出端口 294、以及一个输入端口 296；一个校准发射处理器 298，其拥有一个经由端口 244 与校准处理单元 246 的端口 250 通信地耦合的输入端口 300、以及一个与天线收发转换开关的端口 296 通信地耦合的输出端口 302； 以及一个校准接收处理器 304，其拥有一个与天线收发转换开关的端口 294 通信地耦合的输入端口 306、以及一个经过校准收发信机单元的端口 242 与校准处理单元 246 的端口 248 通信地耦合的输出端口 308。

在校准处理单元的端口 250 处生成的接收模式校准参考信号经由一个校准单元发射信号路径 312 从校准处理单元的端口 250 传播到校准元件 206 的输出端，校准单元发射信号路径 312 经由校准发射处理器 298、天线收发转换开关 290 的端口 296 和 292、同轴电缆 234、以及校准天线元件 206，从校准处理单元的输出端口 250 延伸到校准天线元件 206 的输出端。在接收校准模式中，在控制处理单元 220 的端口 222 处所接收的一个接收模式合成信号作为通过接收模式校准路径传播的相关联的接收模式参考信号的一个结果被导出。当接收模式参考信号通过接收模式校准路径传播时，参考信号跨越校准单元发射信

号路径 312, 被从校准元件 206 辐射到相关联的天线元件 204, 并最终通过一个收发信机接收路径 314 传播, 收发信机接收路径 314 经由相关联的天线元件 204、相关联的同轴电缆 214、天线收发转换开关 264 的端口 266 和 268、以及接收处理器 278, 从相应的天线元件 204 的输入端延伸到控制处理单元 220 的端口 222。

在发射校准中, 一个在控制处理单元 220 的端口 224 处生成的发射模式参考信号经由一个收发信机发射路径 316 传播, 收发信机发射路径 316 经由发射处理器 272 的端口 274 和 276、天线收发转换开关 264 的端口 270 和 266、相关联的同轴电缆 214、以及相关联的天线元件 204, 从控制处理单元 220 的端口 224 延伸到相关联的天线元件 204 的输出端。在校准处理单元 246 的端口 248 处所接收的一个发射模式合成信号作为通过相关联的收发信机发射路径 316 传播的相关联的发射模式参考信号的一个结果被导出, 从相关联的天线元件 204 辐射到校准元件 206, 并最终通过一个校准单元接收信号路径 318 传播, 校准单元接收信号路径 318 经由校准天线元件 206、同轴电缆 234、天线收发转换开关 290 的端口 292 和 294, 并经由校准接收处理器 304, 从校准天线元件 206 的输入端延伸到校准处理单元 246 的端口 248。每一个发射模式校准路径包括相关联的一个收发信机发射路径 316、一个从相关联的元件 204 延伸到校准元件 206 的相关联的辐射路径、以及校准单元接收信号路径 318。

注意, 每一个收发信机单元 210 不包括任何附加的校准部件。这与现有技术的“内部环路”校准收发信机单元 18 (图 2B) 相反。由于

不象在图 2A 和 2B 的现有技术系统中那样要求外部参照发生器信号，所以把本发明的智能天线系统的校准部件称为“系统内”。另外，由于没有把校准部件插入收发信机单元 210 的信号路径 314 和 316 中，所以把收发信机校准单元 238 的部件称为“外部环路”部件。由于在收发信机单元 210 中不存在校准部件，例如开关、耦合器、以及衰减器，所以智能天线收发信机系统 200（图 3）提供了对由元件 204 所接收的信号的最佳的灵敏度。

在接收校准模式中，校准处理单元 246 在其端口 250 处生成一个接收模式参考信号，这一接收模式参考信号经由校准单元发射信号路径 312 传播。作为通过一个跨越校准单元发射信号路径 312，校准元件 206 和相关联的天线元件 204 之间的一个辐射路径，以及相关联的收发信机接收路径 314 的接收模式校准信号路径传播的接收模式参考信号的一个结果，在控制处理单元 220 的端口 222 处导出一个接收模式合成信号。控制处理单元 220 进行工作以确定在校准处理单元 246 的端口 250 处生成的接收模式参考信号和在控制处理单元 220 的端口 222 处所导出的接收模式合成信号之间的相移和振幅差，以获得一个接收校准向量 V_{rc} ， V_{rc} 指示与每一个接收模式校准路径相关联的信号路径特征。可以根据下列关系（2）表示接收模式校准向量。

$$\begin{aligned} V_{rc} &= V_r \bullet V_{ct}' = [V_{r1}, V_{r2}, \dots, V_{rN}] \\ &= [V_{r1}, V_{r2}, \dots, V_{rN}] * [V_{ct1}, V_{ct2}, \dots, V_{ctN}]' \quad (2) \end{aligned}$$

其中，向量 V_r 是指示与每一个收发信机单元 210（图 3）的收发信机路径 314 相关联的信号路径特征的一个接收向量。向量 V_{ct} 是一

个指示与校准单元发射信号路径 312 相关联的信号路径特征的校准单元发射向量。注意，校准单元发射信号路径 312 和收发信机接收路径 314 是级联的。因此，与整个接收模式校准路径，包括路径 312 和 314，相关联的信号特征，可以通过确定包括代表每一路径的信号特征的复数的向量的点积而被确定。使用线性代数是确定接收模式校准向量 V_{rc} ，因为有 N 个收发信机单元 210（图 3）和 N 个天线元件 204。注意，向量 V_{rc} 的所有元素是相同的，因为仅存在一个收发信机校准单元 238，并且仅存在一个。

在发射校准模式中，每一个收发信机单元 210 经由相应的天线元件 204 发射一个信号。校准处理单元 220 在连接于相关联的一个收发信机单元 210 的发射端口 224 处生成一个发射模式校准参考信号，这一信号经由相应的收发信机发射路径 316 传播到相关联的天线元件。作为经由收发信机发射路径 316 传播从相关联的元件 204 辐射到校准元件 206，并经由校准单元接收信号路径 318 传播的相关联的发射参考信号的一个结果，导出在校准处理单元的端口 248 处所接收的发射模式合成信号。校准处理单元 246 进行工作以确定在处理单元 220 的端口 224 处所生成的发射模式参考信号和在校准处理单元 246 的端口 248 处所接收的相关联的发射模式合成信号之间的相移和振幅差，以获得一个发射模式校准向量 V_{tc} ， V_{tc} 指示与每一个发射模式校准路径相关联的信号路径特征。

其中，可以根据下列关系（3）表示发射模式校准向量 V_{tc} 。

$$V_{tc} = V_t \bullet V_{cr}' = V_{tc} = [V_{tc1}, V_{tc2}, \dots, V_{tcN}]$$

$$=[V_{t1}, V_{t2}, \dots, V_{tn}]*[V_{cr1}, V_{cr2}, \dots, V_{crn}]' \quad (3)$$

向量 V_t 是指示与每一个收发信机单元 210 (图 3) 的收发信机发射路径 314 相关联的信号路径特征的一个发射向量。向量 V_{cr} 是指示与校准单元接收信号路径 318 相关联的信号路径特征的一个校准单元接收向量。注意, 发射模式校准向量 V_{tc} 由发射向量 V_t 和校准单元接收向量 V_{cr} 的乘积所确定, 因为路径 316 和 318 是级联的。注意, 校准单元接收向量 V_{cr1} 的每一元件是相等的, 并等于一个复常数, 因为对于与每一天线元件 204 相关联的接收模式信号路径来说, 校准单元接收路径 318 是共同的。

本发明的系统内外部环路校准的一个优点是, 无需现场技术人员经由一个参考信号发生器施加一个参考信号, 也无需在校准过程期间终结同轴电缆。以上所描述的校准过程是自动化的, 并可以远程地对其加以启动。

每一个元件 204 与相应的多个信道或载波相关联。在一实施例中, 每一个元件 204 拥有 8 个与其相关联的信道。把收发信机单元 210、收发信机校准单元 238、以及校准处理子系统 219 配置成可处理由这 8 个信道中的每一个信道所携带的数据。

图 5 是表示为 320 的进一步详细说明校准收发信机单元 238 (图 3) 的一个概略性方框图。校准发射处理器 298 包括: 一个第一数字上变换器 322, 其拥有一个经由校准发射处理器的端口 300 与校准处理单元 246 的端口 250 通信地耦合的输入端口 324、以及一个输出端口 328; 一个第二数字上变换器 330, 其拥有一个与第一数字上变换器 322 的

端口 328 通信地耦合的第一输入端口 334、一个经由校准发射处理器的端口 300 与处理单元 246 的端口 250 通信地耦合的第二输入端口 332、以及一个输出端口 336；一个数/模转换器（D/A 转换器）340，其拥有一个与第二数字上变换器 330 的端口 336 通信地耦合的输入端口 342、以及一个输出端口 344；一个带通滤波器 346，其拥有一个与 D/A 转换器 340 的端口 344 通信地耦合的输入端口 348、以及一个输出端口 350；一个发射路径混合器（mixer）354，其拥有一个被通信地耦合以接收来自滤波器 346 的端口 350 的带通滤波的信号输入端口 356、一个用于接收一个发射路径参考信号的输入端口 358、以及一个输出端口 360；一个参考信号发生器 362，其拥有一个用于把发射路径参考信号提供给混合器 354 的输入端口 358 的输出端口 364；以及一个前置放大器 366，其拥有一个与混合器 354 的端口 360 通信地耦合的输入端口 368、以及经由校准发射处理器的端口 302 与天线收发转换开关 290 的输入端口 296 通信地耦合的输出端口 370。

校准接收处理器 304 包括：一个前置放大器 380，其拥有一个通过校准接收处理器的端口 306 与天线收发转换器 290 的端口 294 通信地耦合的输入端口 382、以及一个输出端口 384；一个接收机路径混合器 386，其拥有一个与放大器 380 的端口 384 通信地耦合的端口 388、一个用于接收一个接收路径参考信号的输入端口 390、以及一个输出端口 392；一个接收路径参考信号发生器 394，其拥有一个用于把接收路径参考信号提供给混合器 386 的端口 390 的输出端口 396；一个带通滤波器 400，其拥有一个用于接收来自混合器 386 的输出端 392 的

混频的接收信号的输入端口 402、以及一个用于提供一个带通滤波的接收信号的输出端口 404；一个模/数转换器（A/D 转换器）408，其拥有一个用于接收滤波的接收信号的与带通滤波器的端口 404 通信地耦合的输入端口 410、以及一个用于把一个数字接收信号提供给一个结点 414 的输出端口 412；一个第一数字下变换器 416，其拥有一个用于经由结点 414 接收来自 A/D 转换器的端口 412 的 4 个信道的数字接收信号输入端口 418、以及一个经由校准接收处理器的端口 308 与系统内校准处理单元 246 的端口 248 通信地耦合的输出端口 420；以及一个第二数字下变换器 424，其拥有一个用于经由结点 414 接收在 A/D 转换器 408 的端口 412 处所提供的数字接收信号的 4 个信道的输入端口 426，以及一个经由校准接收处理器的端口 308 与校准处理单元 246 的端口 248 通信地耦合的输出端口 428。

数字上行和下变换器 322、330、416、以及 424 提供了调谐至每一个发射给和接收自天线校准元件 206 的发射和接收信号的相应的信道或即载波的数字控制。

可以把本发明的系统内外部环路校准智能天线系统用于多种智能天线收发信机系统应用。在一实施例中，把该系统用于可根据各种人们所熟悉的协议（包括 TDMA 和 CDMA）中的任何一种协议操作的蜂窝电话系统的一个基站。针对不同的系统，这些信道被不同地分配和使用。注意，在校准过程中，可以一次一个连续地为每一信道确定校准向量。然而，在这一优选的实施例中，为与天线阵列 202 的每一个天线元件 204 相关联的 8 个信道或载波中的每一个同时确定校准向量。

尽管以上已参照一个具体的实施例对本发明进行了具体的说明与描述，但应该预料到：对于本领域的熟练技术人员来说，对本发明的变更与修改无疑将是十分明显的。因此，旨在把以下的权利要求解释为覆盖所有这些落入本发明的构思与范围内部的变更与修改。

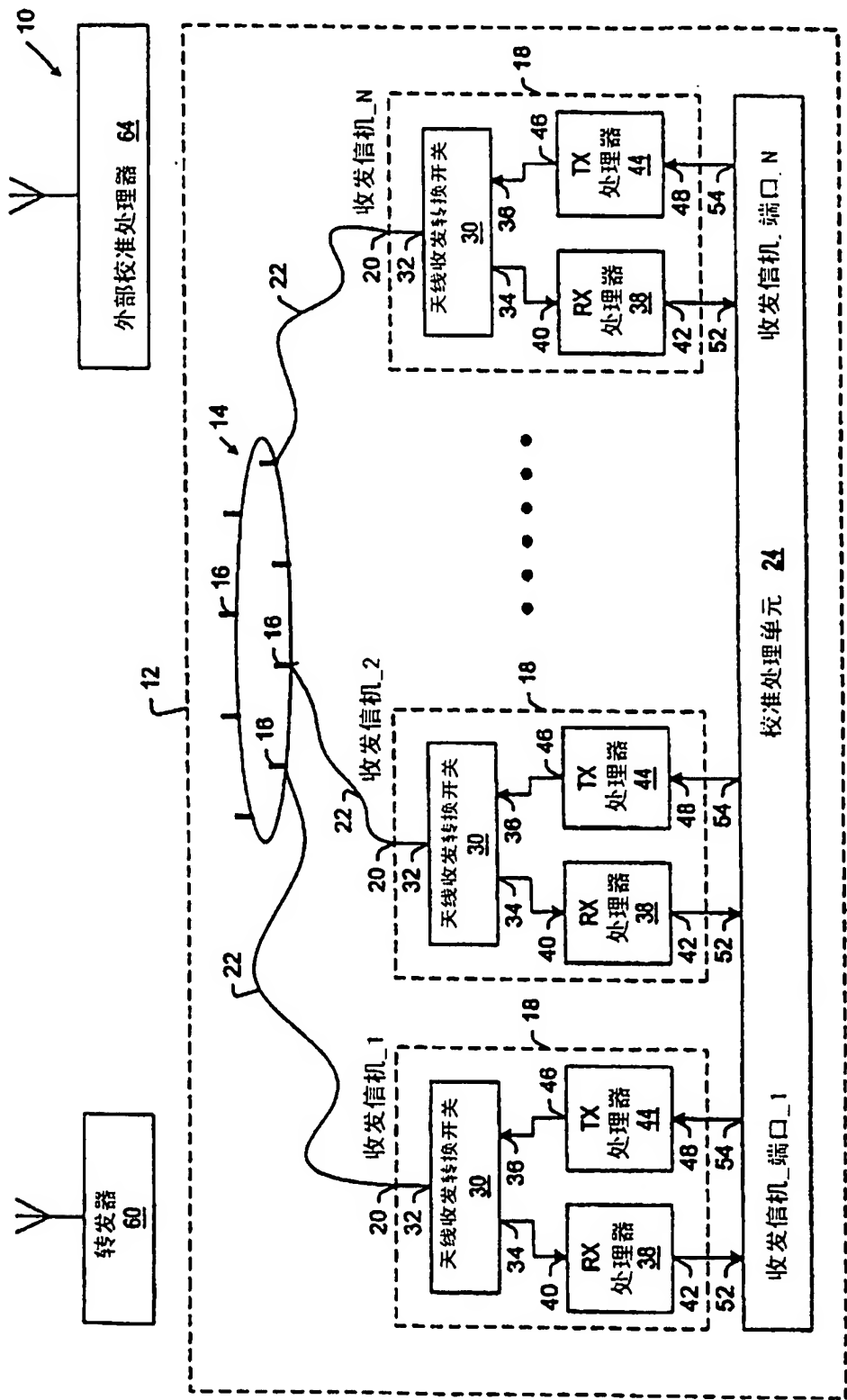


图1
现有技术

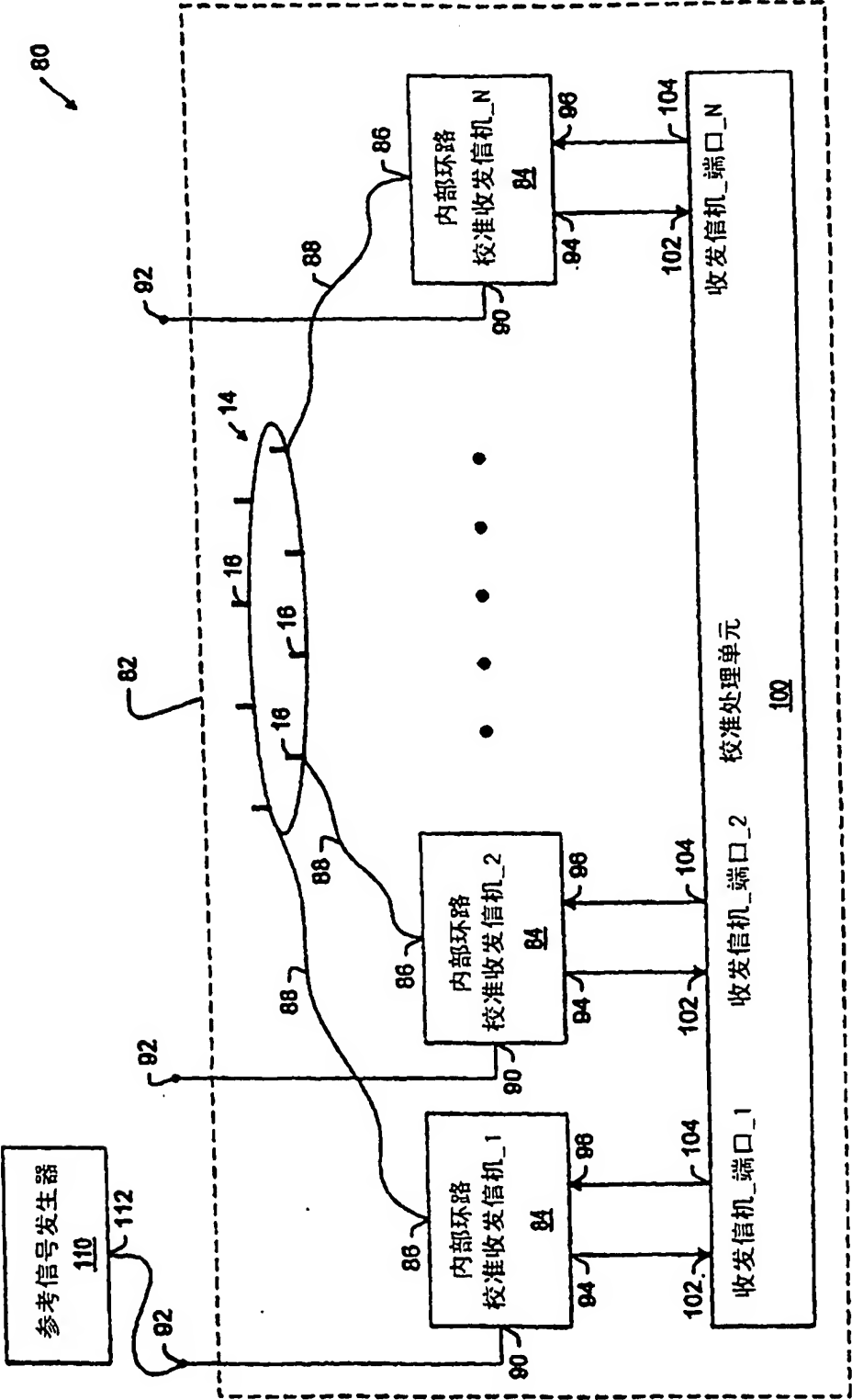


图2A
现有技术

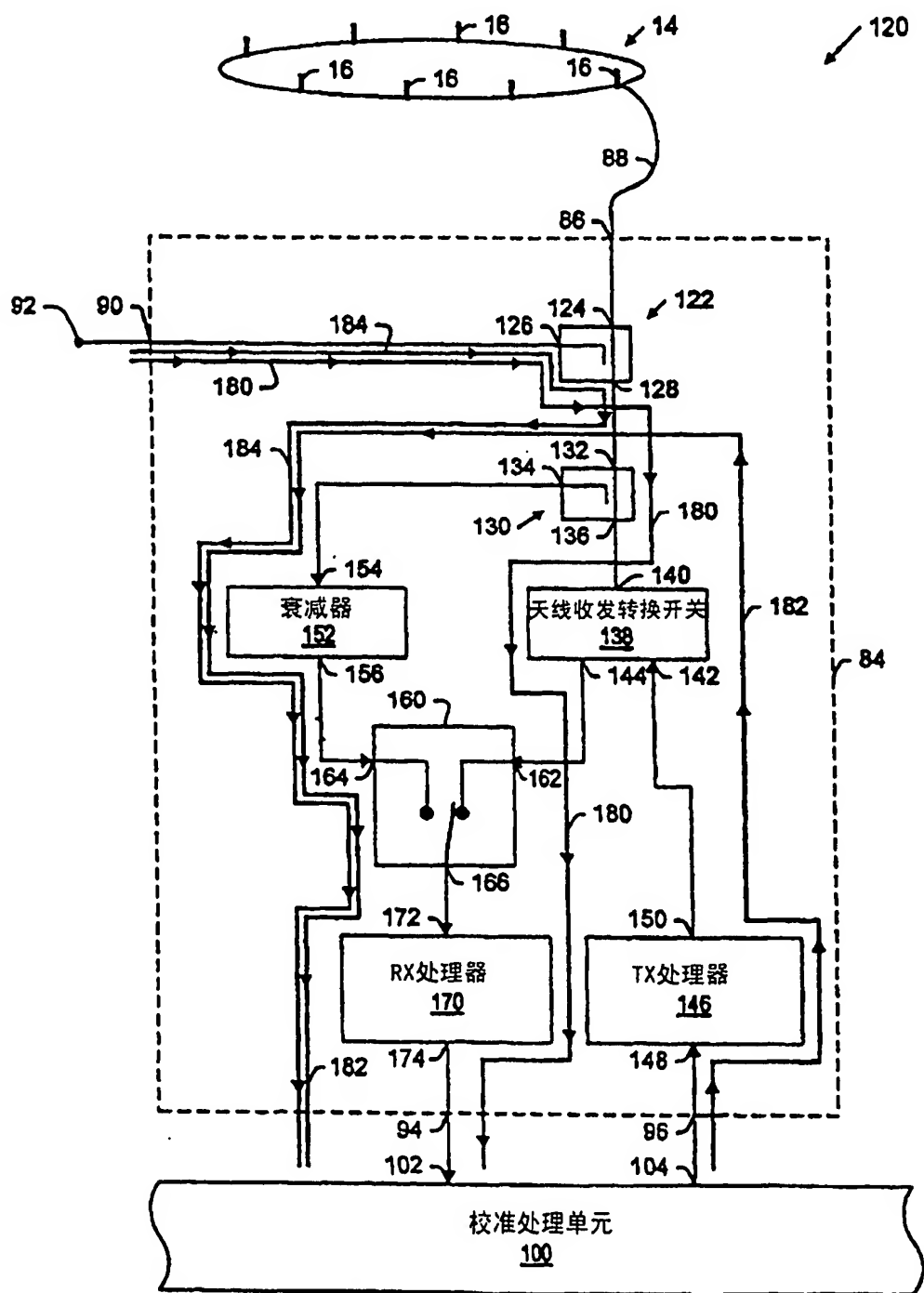


图2B
现有技术

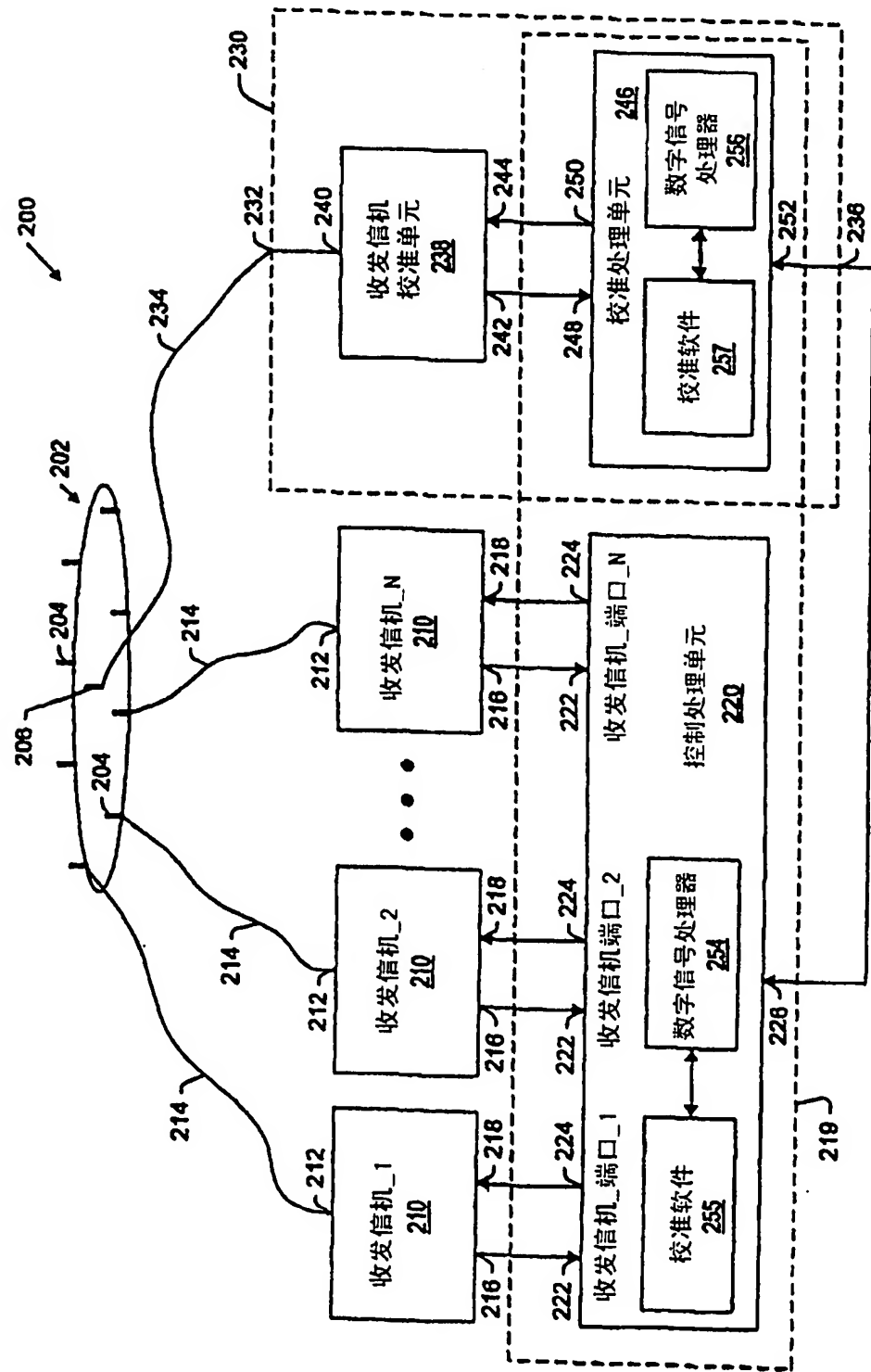


图3

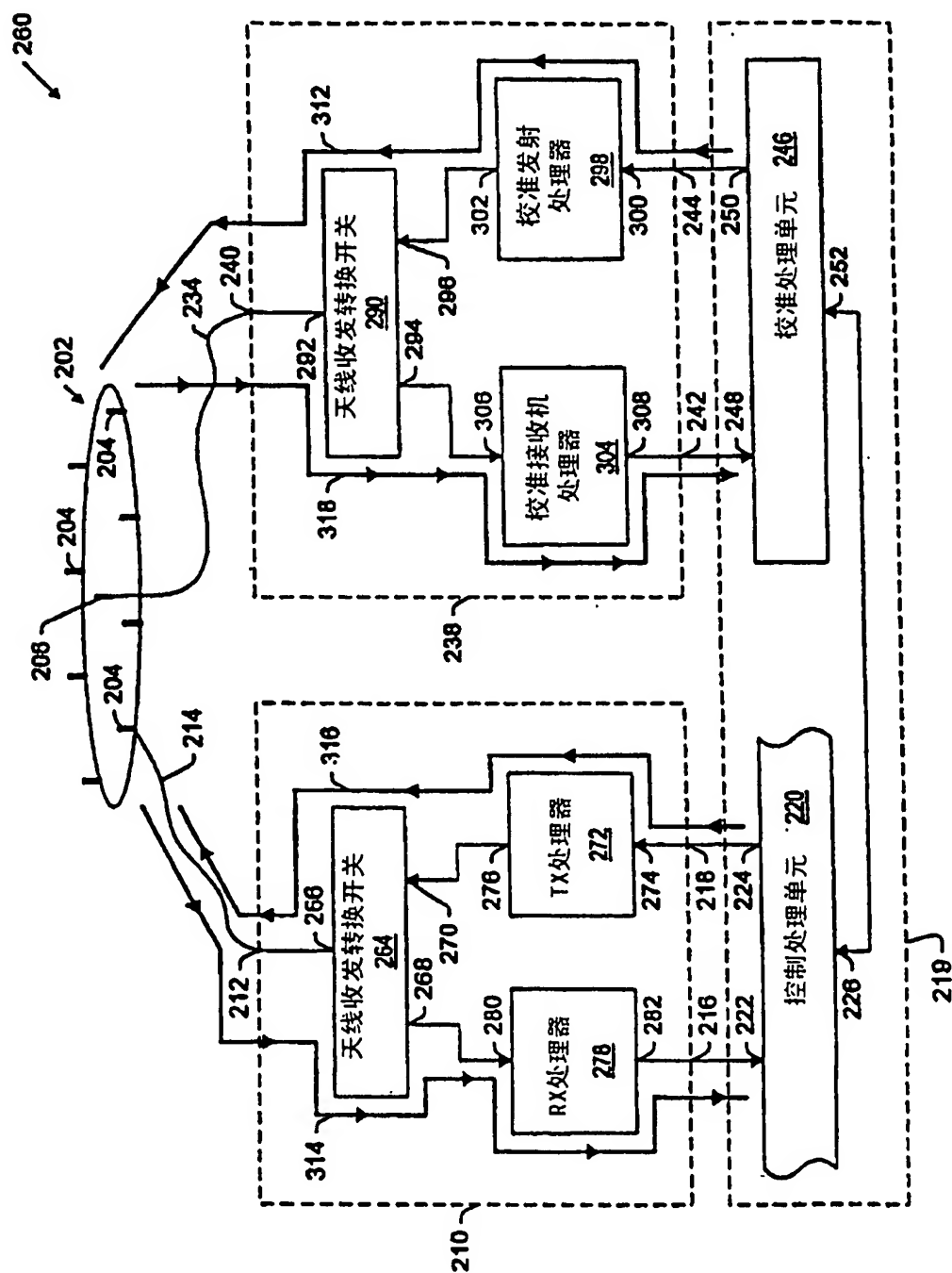


图4

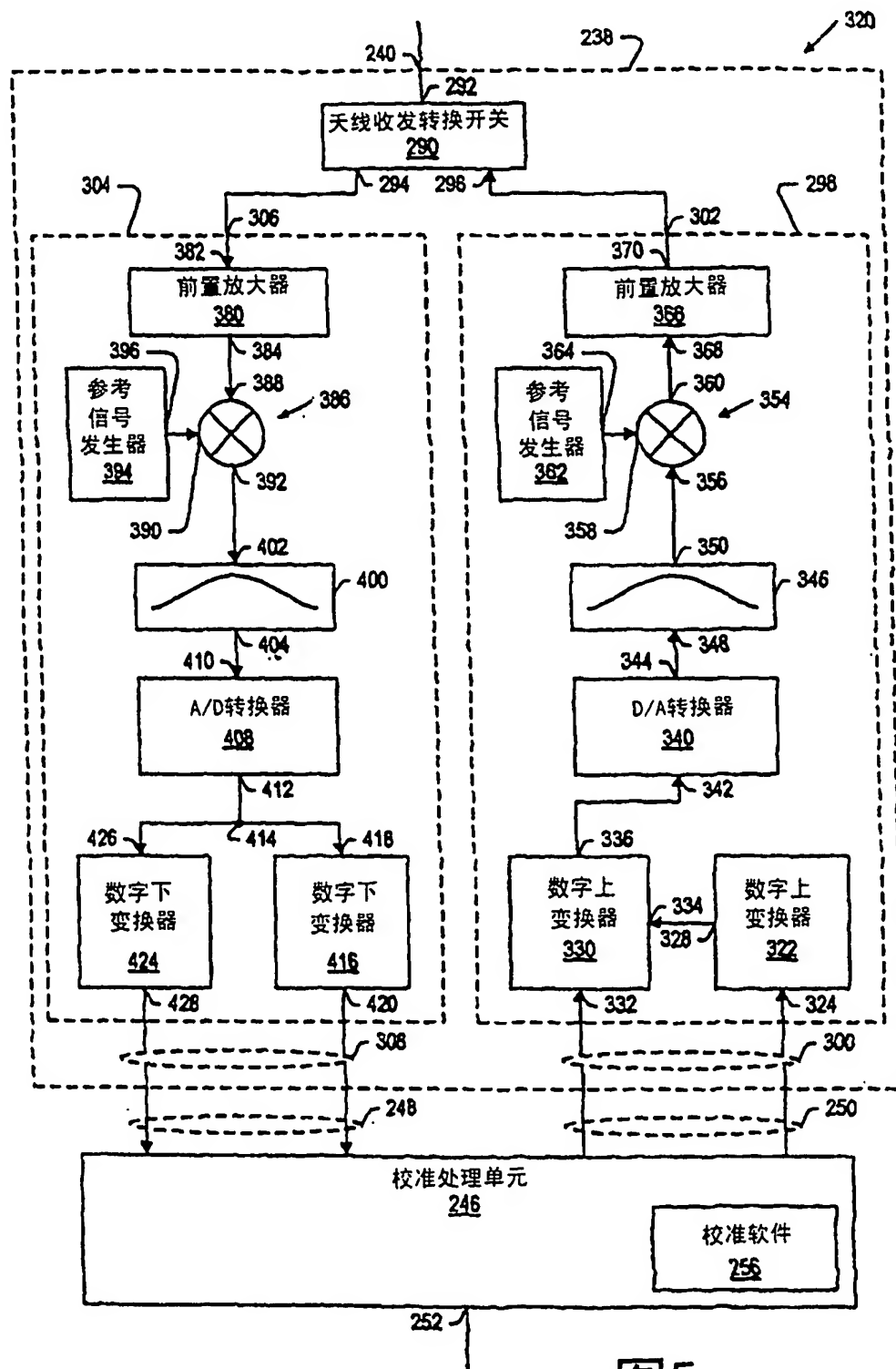


图5